Упрощенные методы определения некоторых данных асинхронных электродвигателей.



В настоящем документе представлена только часть указанного издания, касающаяся практического пересчета обмоток асинхронных двигателей при ремонте.

В части сведений по обмоточным матералам, изоляционным, по данным номиналов обмоточных проводов и других стандартов следует обращаться к современным источникам (ГОСТ).

Кузнецов Б. В., Сацукевич М. Ф., "Справочник пособие заводкого электрика" 1978 г.

Rev. 01.   24 March 2021

Пересчет обмотки статора на напряжение отличное от поминального.

При переключении или перемотке обмотки статора на другое напряжение при сохранении неизменной частоты вращения необходимо увеличить или уменьшить число последовательно соединенных витков в фазе во столько же раз, во сколько увеличивается или уменьшается напряжение:

$$w_{\text{НОВ}} = \frac{w_{\text{СТ}} \times U_{\text{НОВ}}}{U_{\text{СТ}}}$$

где $w_{\text{НОВ}}$, $w_{\text{СТ}}$ – новое и старое число витков фазы статора; $U_{\text{НОВ}}$, $U_{\text{СТ}}$ – новое и старое фазное напряжение.

Для переключения обмотки на другое напряжение без перемотки параллельно включенные катушечные группы или катушки заменяют последовательно включенными или, наоборот, в зависимости от увеличения или уменьшения напряжения, при котором должен работать электродвигатель.
Иногда одновременно с переключением обмоток изменяют соединение фаз, например, треугольник на звезду или наоборот. Уменьшить напряжение путем переключения обмоток без перемотки возможно, если в старой обмотке есть катушечные группы, соединенные последовательно. В этом случае при понижении рабочего напряжения катушки или катушечные группы каждой фазы должны быть включены параллельно. При этом суммарное сечение проводов параллельных ветвей каждой фазы увеличивается во столько раз, во сколько увеличено число параллельных ветвей, во столько же раз возрастает и ток электродвигателя, если оставить неизменным соединение фаз. Проводя подобные переключения, необходимо распределять участки параллельных ветвей обмотки равномерно по окружности статора.

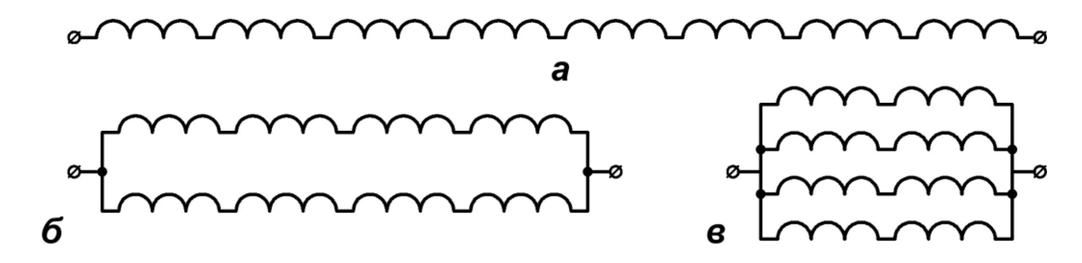


Рис. 21. Варианты пересоединения обмотки статора на различные напряжения.

При фазном роторе переключение на другое напряжение при неизменной частоте вращения производится только в обмотке статора, так как напряжение на кольцах при этом остается неизменным.
Пример 1. Асинхронный электродвигатель при $U_{\text{Н}}$ = 500 *в* имеет в каждой фазе восемь последовательно соединенных катушечных групп (рис. 21, *а*). Фазы соединены в звезду. Необходимо определить, на какие другие напряжения возможно переключение обмоток.
Решение. Возможны следующие варианты:
а) соединить восемь катушечных групп каждой фазы в две параллельные ветви с четырьмя катушечными группами в каждой (рис. 21, б).
Новое напряжение фазы обмотки:

$$U_{\text{Ф}} = \frac{500}{\sqrt{3} \times 2} = 144 \text{ в}$$

Электродвигатель можно использовать в сети, напряжением 127 и 220 *в*. Для этого при напряжении 127 *в* обмотки соединяют в треугольник, а при напряжении 220 *в* – в звезду. Так как фазное напряжение $U_{\text{Ф}}$ = 127 *в*, то мощность машины при этом уменьшится и составит 127/144 = 0,88 первоначальной;

б) соединить катушечные группы в четыре параллельные ветви с двумя последовательными катушечными группами в каждой (рис. 21, *в*). Новое напряжение фазы:

$$U_{\Phi} = \frac{500}{\sqrt{3} \times 4} = 72 \text{ в}$$

Такой электродвигатель можно использовать в сети с линейным напряжением $U_{Л}$ = 127 *в*, если обмотки соединить в звезду;
в) переключить обмотки фаз со звезды на треугольник. Новое напряжение фазы:

$$U_{\Phi} = \frac{500}{\sqrt{3}} = 288 \text{ в}$$

Электродвигатель можно использовать в сети $U_{Л}$ = 220 *в*, мощность электродвигателя будет равна 220/288 = 0,77 первоначальной. В табл. 81 приведены возможные числа параллельных ветвей обмоток при разных числах полюсов машины.

81. Параллельные ветви катушечных и двухслойных обмоток.

Число пар полюсов	1	2	3	4	5	6	7	8
Возможные числа параллельных ветвей в простых катушечных обмотках	1	1; 2	1; 3	1; 2; 4	1; 5	1; 2; 3; 6	1; 7	1; 2; 4; 8
То же, в двухслойных обмотках	1; 2	1; 2; 4	1; 2; 3; 6	1; 2; 4; 8	1; 2; 5; 10	1; 2; 3; 4; 6; 12	1; 7; 14	1; 2; 4; 8; 16

Пример 2. Асинхронный электродвигатель при $n_{Н}$ = 480 *об. мин*. и $U_{Н}$ = 500 *в* имеет простую катушечную обмотку. Определить, на каких более низких напряжениях может он работать после перемотки.
Решение. Синхронная частота вращения поля статора n_1 = 500 *об. мин*., что соответствует 6 парам полюсов. Из табл. 81 видно, что электродвигатель можно использовать при напряжениях:

$$U = \frac{500}{2} = 250 \text{ в}; \; U = \frac{500}{3} = 166 \text{ в}; \; U = \frac{500}{6} = 83 \text{ в}$$

Если схема обмотки не позволяет производить переключение на другое напряжение путем комбинации катушечных групп, приходится перематывать обмотку статора. При этом необходимо, чтобы количество проводников в пазу заменялось пропорционально изменению напряжения, а их сечения – обратно пропорционально ему.
Пример 3. Электродвигатель при $U_{Н}$ = 127/220 *в* необходимо перемотать для использования в сети с $U_{Н}$ = 380 *в*. Число проводников в пазу 22, диаметр медного провода марки ПЭЛ 1,56 *мм*., число параллельных проводников 2, соединение катушечных групп – последовательное. Решение. Новое число проводников в пазу:

$$N_{НОВ} = N_{СТ} \times \frac{U_{НОВ}}{U_{СТ}} = 22 \times \frac{220}{127} = 38$$

где: $U_{НОВ}$ – новое фазное напряжение при $U_{Л}$ = 380 *в*, если обмотка статора соединена в звезду; $U_{СТ}$ – старое фазное напряжение (при $U_{Л}$ = 220 *в*).
Сечение провода для новой обмотки:

$$S_{НОВ} = S_{СТ} \times \frac{U_{СТ}}{U_{НОВ}} = 2 \times 1{,}91 \times \frac{127}{220} = 2{,}21 \text{ мм}^2$$

где: 1,91 *мм*² – сечение провода, соответствующее диаметру 1,56 *мм*. По данным табл. 82 определяем новое стандартное сечение медного проводника и его диаметр: $S_{НОВ}$ = 2,217 *мм*²; $d_{НОВ}$ = 1,68 *мм*.

82. Проволока для обмоточных проводов по ГОСТ 2112–71.

d, мм	*S, мм*²	масса 1 *км, кг,*	*d, мм*	*S, мм*²	масса 1 *км, кг,*	*d, мм,*	*S, мм*²	масса 1 *км, кг,*
0,05	0,00196	0,01746	0,47	0,1735	1,542	1,30	1,327	11,80
0,06	0,00283	0,0252	0,49	0,1886	1,676	1,35	1,431	12,73
0,07	0,00385	0,0342	0,51	0,2043	1,816	1,40	1,539	13,69
0,08	0,00503	0,0447	0,53	0,221	1,961	1,45	1,651	14,68
0,09	0,00636	0,0566	0,55	0,238	2,11	1,50	1,767	15,71
0,10	0,00785	0,0698	0,57	0,255	2,27	1,56	1,91	16,99
0,11	0,00950	0,0845	0,59	0,273	2,43	1,62	2,06	18,32
0,12	0,01131	0,1005	0,62	0,302	2,68	1,68	2,217	19,71
0,13	0,01327	0,1180	0,64	0,322	2,86	1,74	2,38	21,1
0,14	0,01539	0,1368	0,67	0,353	3,13	1,81	2,57	22,9
0,15	0,01767	0,1571	0,69	0,374	3,32	1,88	2,78	24,7
0,16	0,0201	0,1788	0,72	0,407	3,62	1,95	2,99	26,5
0,17	0,0227	0,202	0,74	0,430	3,82	2,02	3,205	28,5
0,18	0,0255	0,226	0,77	0,466	4,14	2,10	3,46	30,8
0,19	0,0284	0,252	0,80	0,503	4,47	2,26	4,01	35,7
0,20	0,0314	0,279	0,83	0,541	4,81	2,44	4,68	41,6
0,21	0,0346	0,308	0,86	0,581	5,16	2,63	5,43	48,3
0,23	0,0415	0,369	0,90	0,636	5,66	2,83	6,29	55,9
0,25	0,0491	0,436	0,93	0,679	6,04	3,05	7,31	65,0
0,27	0,0573	0,509	0,96	0,724	6,43	3,28	8,45	75,1
0,29	0,0661	0,587	1,00	0,785	6,98	3,53	9,79	87,0
0,31	0,0755	0,671	1,04	0,849	7,55	3,80	11,34	100,8
0,33	0,0855	0,760	1,08	0,916	8,14	4,10	13,20	117,4
0,35	0,0962	0,855	1,12	0,985	8,75	4,50	15,90	141,4
0,38	0,1134	1,008	1,16	1,057	9,40	4,80	18,10	160,9
0,41	0,1320	1,173	1,20	1,131	10,05	5,20	21,2	188,8
0,44	0,1521	1,352	1,25	1,227	10,91			

Проверим, разместятся ли 38 новых проводников в старых пазах:

$$\frac{N_{\text{НОВ}} \times d_{\text{НОВ}}^2}{N_{\text{СТ}} \times d_{\text{СТ}}^2} \leq 1$$

где: $d_{СТ}$, $d_{НОВ}$ – диаметр проводов по изоляции до и после перемотки, *мм*.

По табл. 83 $d_{НОВ}$ = 1,76 *мм*., $d_{СТ}$ = 1,64 *мм*. Так как старая обмотка выполнена из двух параллельных проводников, то:

$$\frac{N_{\text{НОВ}} \times d_{\text{НОВ}}^2}{N_{\text{СТ}} \times d_{\text{СТ}}^2} = \frac{38 \times 1{,}76^2}{2 \times (22 \times 1{,}64^2)} = 0{,}994 < 1$$

следовательно, проводники новой обмотки поместятся в пазу.

Определение мощности электродвигателя по размерам сердечника статора.

При отсутствии паспорта примерную мощность электродвигателя можно определить по данным сердечника статора: *Di*, – внутреннему диаметру; *l* – длине, включая вентиляционные каналы, и n_1 – синхронной частоте вращения:

$$P_2 = C \times D_i^2 \times l \times n_1 \times 10^{-6}$$

где: *C* – постоянная, зависящая от габаритов машины и ее скорости. Чаще всего ее определяют по величине полюсного деления (см. табл.):

$$\tau = \frac{\pi \times Di}{2p}$$

Зависимость постоянной *C* от числа полюсов и полюсного деления τ при $U_{\text{Н}} < 500$ *в*

число полюсов	полюсное деление, *см*.					
	10	20	30	40	50	60
2	0,4	1,4	2,2	2,7	3,15	3,9
4	1,1	2,2	3,0	3,5	3,8	4,2
6	1,7	2,9	3,8	4,35	4,8	–
8	2,0	3,85	4,3	–	–	–

Пример. Определить мощность на валу электродвигателя по данным сердечника: *Di* = 26,5 *см*., *l* = 17 *см*., n_1 = 1500 *об. мин*.
Решение. Число пар полюсов машины:

$$p = \frac{60 \times f}{n_1} = \frac{60 \times 50}{1500} = 2$$

Полюсное деление машины:

$$\tau = \frac{\pi \times Di}{2p} = \frac{3{,}14 \times 26{,}5}{2 \times 2} = 20{,}8 \text{ см}$$

По данным табл. 85 при $2p = 4$ и $\tau = 20{,}8$ *см*. *C* = 2,26 (значение *C* берется с интерполяцией для τ = 20 – 30 *см*.). Примерная мощность машины:

$$P_2 = C \times D_i^2 \times l \times n_1 \times 10^{-6} = 2{,}26 \times 26{,}5^2 \times 17 \times 1500 \times 10^{-6} \approx 40 \text{ квт}$$

Ближайший серийный электродвигатель типа АО2–81–4, согласно шкале мощностей, имеет номинальную величину $P_{\text{Н}}$ = 40 *кВт*.

83. Максимальные диаметры некоторых обмоточных проводов.
(по ГОСТ 16507–70, 7262–70, 2773–69, 7019–71)

Ном. диаметр голого провода *мм*	Максимальный диаметр изолированного провода, *мм*						Ном. диаметр голого провода *мм*	Максимальный диаметр изолированного провода, *мм*					
	ПЭЛ, ПЭВ1, ПЭМ1	ПЭВ2, ПЭМ2, ПЭТВ	ПЭЛШО, ПЭЛЛО	ПЭВЛО	ПЭЛБО	ПСД ПСДК		ПЭЛ, ПЭВ1, ПЭМ1	ПЭВ2, ПЭМ2, ПЭТВ	ПЭЛШО, ПЭЛЛО	ПЭВЛО	ПЭЛБО	ПСД ПСДК
0,05	0,07	0,08	0,14	–	–	–	0,77	0,83	0,86	0,92	0,94	0,97	1,04
0,06	0,085	0,09	0,15	0,16	–	–	0,80	0,86	0,89	0,95	0,97	1,00	1,07
0,07	0,095	0,10	0,16	0,17	–	–	0,83	0,89	0,92	0,98	1,00	1,03	1,10
0,08	0,105	0,11	0,17	0,18	–	–	0,86	0,92	0,95	1,01	1,03	1,06	1,13
0,09	0,115	0,12	0,18	0,19	–	–	0,90	0,96	0,99	1,05	1,07	1,10	1,17
0,10	0,125	0,13	0,19	0,20	–	–	0,93	0,99	1,02	1,08	1,10	1,13	1,20
0,11	0,135	0,14	0,20	0,21	–	–	0,96	1,02	1,05	1,11	1,13	1,16	1,23
0,12	0,145	0,15	0,21	0,22	–	–	1,00	1,08	1,11	1,16	1,19	1,23	1,29
0,13	0,155	0,16	0,22	0,23	–	–	1,04	1,12	1,15	1,20	1,23	1,27	1,33
0,14	0,165	0,17	0,23	0,24	–	–	1,08	1,16	1,19	1,24	1,27	1,31	1,37
0,15	0,18	0,19	0,24	0,26	–	–	1,12	1,20	1,23	1,28	1,31	1,35	1,41
0,16	0,19	0,20	0,25	0,27	–	–	1,16	1,24	1,27	1,32	1,35	1,39	1,45
0,17	0,20	0,21	0,26	0,28	–	–	1,20	1,28	1,31	1,36	1,39	1,43	1,49
0,18	0,21	0,22	0,27	0,29	–	–	1,25	1,33	1,36	1,41	1,44	1,48	1,34
0,19	0,22	0,23	0,28	0,30	–	–	1,30	1,38	1,41	1,46	1,49	1,53	1,39
0,20	0,23	0,24	0,30	0,32	–	–	1,35	1,43	1,46	1,51	–	1,58	1,64
0,21	0,24	0,25	0,31	0,33	–	–	1,40	1,48	1,51	1,56	–	1,63	1,69
0,23	0,27	0,28	0,33	0,36	–	–	1,45	1,53	1,56	1,61	–	1,68	1,74
0,25	0,29	0,30	0,35	0,38	–	–	1,50	1,58	1,61	1,68	–	1,74	1,79
0,27	0,31	0,32	0,39	0,40	–	–	1,56	1,64	1,67	1,74	–	1,80	1,85
0,29	0,33	0,34	0,41	0,42	–	–	1,62	1,70	1,73	–	–	1,86	1,91
0,31	0,35	0,36	0,43	0,44	–	–	1,68	1,76	1,79	–	–	1,92	1,97
0,33	0,37	0,38	0,45	0,46	–	–	1,74	1,82	1,85	–	–	1,98	2,03
0,35	0,39	0,41	0,47	0,49	–	–	1,81	1,90	1,93	–	–	2,05	2,10
0,38	0,42	0,44	0,50	0,52	0,55	–	1,88	1,97	2,00	–	–	2,12	2,17
0,41	0,45	0,47	0,53	0,55	0,58	–	1,95	2,04	2,07	–	–	2,19	2,24
0,44	0,48	0,50	0,57	0,58	0,62	–	2,02	2,11	2,14	–	–	2,27	2,32
0,47	0,51	0,53	0,60	0,61	0,65	–	2,10	2,20	2,23	–	–	2,35	2,40
0,49	0,53	0,55	0,62	0,63	0,67	–	2,26	2,36	2,39	–	–	–	2,62
0,51	0,56	0,58	0,64	0,66	0,69	–	2,44	2,54	2,67	–	–	–	2,80
0,53	0,58	0,60	0,66	0,68	0,71	0,79	2,63	–	–	–	–	–	2,99
0,55	0,60	0,62	0,68	0,70	0,73	0,81	2,83	–	–	–	–	–	3,19
0,57	0,62	0,64	0,70	0,72	0,75	0,83	3,05	–	–	–	–	–	3,42
0,59	0,64	0,66	0,72	0,74	0,77	0,85	3,28	–	–	–	–	–	3,65
0,62	0,67	0,69	0,75	0,77	0,80	0,88	3,53	–	–	–	–	–	3,90
0,64	0,69	0,72	0,77	0,80	0,82	0,90	3,80	–	–	–	–	–	4,17
0,67	0,72	0,75	0,80	0,83	0,85	0,93	4,10	–	–	–	–	–	4,48
0,69	0,74	0,77	0,82	0,85	0,87	0,95	4,50	–	–	–	–	–	4,88
0,72	0,77	0,80	0,87	0,89	0,92	0,99	4,80	–	–	–	–	–	5,18
0,74	0,80	0,83	0,89	0,91	0,94	1,01	5,20	–	–	–	–	–	5,58

Расчеты по перемотке обмоток статора асинхронного электродвигателя на новую частоту вращения.

При изменении частоты вращения электродвигателя следует изменить число полюсов в статоре, а следовательно, выбрать другой шаг обмотки, число пазов на полюс и фазу. Шаг однослойных (катушечных) обмоток обычно равен диаметральному шагу (полюсному делению), то есть:

$$y = \tau = \frac{z_1}{2p}$$

Шаг двухслойных обмоток берется укороченным:

$$y = (0{,}8 - 0{,}83) \times \frac{z_1}{2p}$$

При изменении скорости иногда электродвигатель с короткозамкнутым ротором, перемотанный на новое число полюсов, работает неудовлетворительно, хотя расчет, казалось бы, произведен правильно. Это объясняется несоответствием соотношения чисел пазов статора и ротора, что вызывает застревание электродвигателя во время пуска, ненормальное гудение при работе и т. д.

Во избежание этого при пересчете на новое число полюсов следует производить проверку соотношения чисел пазов статора и ротора по табл. 86. Данные таблицы не относятся к электродвигателям с фазным ротором, однако при переделке фазных роторов на короткозамкнутые они должны учитываться, так как залипание и застревание таких роторов очень велико.

После проверки соотношения чисел пазов статора и ротора определяют число проводников в пазу и их сечение:

$$N_{\text{НОВ}} = N_{\text{СТ}} \times \frac{n_{\text{СТ}}}{n_{\text{НОВ}}};\ S_{\text{НОВ}} = S_{\text{СТ}} \times \frac{N_{\text{СТ}}}{N_{\text{НОВ}}}$$

где: $N_{\text{НОВ}}$, $N_{\text{СТ}}$ –новое и старое количество проводников в пазу; $S_{\text{НОВ}}$, $S_{\text{СТ}}$ – новое и старое сечение проводников обмотки; $n_{\text{НОВ}}$, $n_{\text{СТ}}$ – новая и старая частота вращения.

Мощность электродвигателя после перемотки:

$$P_{\text{НОВ}} \approx P_{\text{СТ}} \times \frac{n_{\text{НОВ}}}{n_{\text{СТ}}}$$

При пересчете на меньшее число полюсов (большую скорость) магнитная индукция в спинке статора может увеличиться за допустимые пределы: более 1,2 – 1,7 *Т* при $2p = 2$; более 1,0 – 1,5 *Т* при $2p > 2$. В результате чрезмерного увеличения индукции в спинке резко возрастает намагничивающий ток, что недопустимо.

Величина магнитной индукции в спинке статора:

$$B_C = 0{,}6 \times \frac{B_3 \times Di}{p \times h_C}$$

где: B_3 – максимальная индукция в воздушном зазоре, которая определяется по формуле:

$$B_3 = \frac{2{,}5 \times U_{\Phi} \times p \times 100}{Di \times l \times z_1 \times N_{\text{НОВ}}}$$

где: U_{Φ} – фазное напряжение, *в*.

Максимальная индукция не должна превышать 0,35–0,6 *Т* при мощности электродвигателя до 1 *кВт*; 0,45 – 0,72 *Т* при мощности электродвигателя 1,1 – 5 *кВт*; 0,5 – 0,8 *Т* при мощности электродвигателя свыше 5 *кВт*.

Если магнитная индукция в спинке статора окажется больше допустимой, количество проводников в пазу необходимо увеличить следующим образом:

$$N'_{\text{НОВ}} = N_{\text{НОВ}} \times \frac{B_C}{1{,}2 - 1{,}7} \quad \text{при}\ \ 2p = 2 \qquad N'_{\text{НОВ}} = N_{\text{НОВ}} \times \frac{B_C}{1 - 1{,}5} \quad \text{при}\ \ 2p > 2$$

где: $N'_{\text{НОВ}}$ – новое число проводников в пазу, обеспечивающее допустимую магнитную индукцию в спинке статора и в воздушном зазоре.

86. Рекомендуемое число пазов для короткозамкнутых электродвигателей.

Число полюсов	Число пазов статора	Число пазов ротора	
		прямых	скошенных
2	18	–	26
	24	[16], 32	(18), (30), 31, 33, 34
	30	22, 38	(18), 20, 21, 23, (24), 39, 40
	36	26, 28, 44, 46	25, 27, 29, 43, 45, 47
	42	32, 34, 50, 52	–
	48	38, 40, 56, 58	59
4	24	[32]	16, [20], 30, 33, 34, 35, 36
	36	26, 44, 46	(24), 27, 28, 30, [32], 45, 48
	42	(34), (50), 52, 54	(33), 34, [38], (51), 53
	48	34, 38, 56, 58, 62, 64	(36), (39), 40, [44], 57, 59
	60	50, 52, 68, 70, 74	48, 49, 51, 56, 64, 69, 71
	72	62, 64, 80, 82, 86	61, 63, 68, 76, 81, 83
6	36	26, 42, [48]	47, 49, 50
	54	44, 64, 66, 68	42, 43, 65, 67
	72	56, 58, 62, 82, 84, 86, 88	57, 59, 60, 61, 83, 85, 87
	90	74, 76, 78, 80, 100, 102, 104	55, 77, 79, 101, 103, 105
8	48	34, 62, [64]	35, 61, 63, 65
	72	58, 86, 88, 90	56, 57, 59, 85, 87, 89
	84	66, (68), 70, 98, 100, 102, 104	(68), (69), (71), (97), (99), (101)
	96	78, 82, 110, 112, 114	79, 80, 81, 83, 109, 111, 113
10	60	44, 46, 74, 76	57, 63, 77, 78, 79
	90	68. 72, 74, 76, 104, 106, 108, 110, 112, 114	70, 71, 73, 87, 93, 107, 109
	120	86, 88, 92, 94, 96, 98, 102, 104, 106, 134, 138, 140, 142, 144	99, 101, 108, 117, 123, 137, 139
12	72	56, 64, 80, 88	69, 75, 80, 89, 91, 92
	90	68, 70, 74, 82, 98, 106, 110	(71), (73), 86, 87, 93, 94, (107)
	108	86, 88, 92, 100, 116, 124, 128, 130 132	84, 89, 91, 104, 105, 111, 112, 125, 127
	144	124, 128, 136, 152, 160, 164, 166, 168, 170, 172	125’, 127, 141, 147, 161, 163
14	84	74, 94, 102, 104, 106	75, 77, 79, 89, 91, 103
	126	106, 108, 116, 136, 144, 146, 148, 150, 152, 154, 158	107, 117, 119, 121, 131, 133, 135, 1.45

Примечания: 1. Числа пазов, заключенные в круглые скобки, дают ухудшенные пусковые характеристики. 2. Числа пазов, заключенные в квадратные скобки, не следует применять для машин, работающих в тормозных режимах.

Пример. Требуется перемотать обмотку статора асинхронного короткозамкнутого электродвигателя 7 *кВт*, 1000 *об. мин*. ($2p = 6$), 380 *в* на 1500 *об. мин*. ($2p = 4$). Обмотка двухслойная. Дополнительные данные: $Di = 20$ *см*., $l = 10$ *см*., $N_{\text{СТ}} = 36$, $z_1 = 36$, $h_{\text{С}} = 3{,}47$ *см*., провод ПЭЛБО, $S_{\text{СТ}} = 2 \times 1{,}131 = 2{,}262$ *мм*^{2}. Пазы ротора прямые, $z_2 = 46$.

Решение. По табл. 86 определяем, что перемотка электродвигателя на новую частоту вращения по соотношению пазов статора и ротора возможна.

Число проводников в пазу при перемотке:

$$N_{\text{НОВ}} = N_{\text{СТ}} \times \frac{n_{\text{СТ}}}{n_{\text{НОВ}}} = 36 \times \frac{1000}{1500} = 24$$

Новое сечение проводников обмотки:

$$S_{\text{НОВ}} = S_{\text{СТ}} \times \frac{N_{\text{СТ}}}{N_{\text{НОВ}}} = 2{,}262 \times \frac{36}{24} = 3{,}4\ \text{мм}^2$$

По табл. 82 подбираем провод $S_{\text{НОВ}}$ = 3,46 *мм*², $d_{\text{НОВ}}$ = 2,1 *мм*.
Шаг по пазам при двухслойной обмотке:

$$y = 0{,}83 \times \frac{z_1}{2p} = 0{,}83 \times \frac{36}{4} = 7{,}05$$

Принимаем шаг по пазам y = 7, т. е. 1 – 8.
Максимальная магнитная индукция в воздушном зазоре:

$$B_3 = \frac{2{,}5 \times U_\Phi \times p \times 100}{Di \times l \times z_1 \times N_{\text{НОВ}}} = \frac{2{,}5 \times 220 \times 2 \times 100}{20 \times 10 \times 36 \times 24} = 0{,}637\ T$$

Магнитная индукция в спинке статора:

$$B_C = 0{,}6 \times \frac{B_3 \times Di}{p \times h_C} = 0{,}6 \times \frac{0{,}637 \times 20}{2 \times 3{,}47} = 1{,}1\ T$$

Из расчета следует, что значения магнитной индукции в воздушном зазоре и в спинке статора не выходят за допустимые пределы.
При перемотке асинхронного электродвигателя на другую частоту вращения необходимо учитывать следующее. Увеличение скорости вызывает повышенный нагрев подшипников. Поэтому при обкатке электродвигателя необходимо следить за подшипниками. При возрастании скорости возможен вылет лобовых частей из–за увеличения шага обмотки. Поэтому необходимо проверить величину зазора от лобовой части до щита электродвигателя. Величина зазора при напряжении до 500 *в* должна быть не менее 8 – 10 *мм*. При уменьшении скорости ухудшается вентиляция электродвигателя, вследствие чего полученную мощность необходимо уменьшить на 10–15%. При увеличении скорости плотность тока можно повысить на 10–15%, что вызовет увеличение мощности электродвигателя.

Расчет конденсаторов для работы трехфазного асинхронного электродвигателя в однофазном режиме.

Принципиальные электрические схемы включения трехфазного асинхронного электродвигателя в однофазную сеть приведены на рис. 22. Электродвигатель может быть включен по схеме звезды (рис. 22, *а*) или треугольника (рис. 22, *б*). Эти схемы применяют в том случае, когда электродвигатель имеет три вывода.

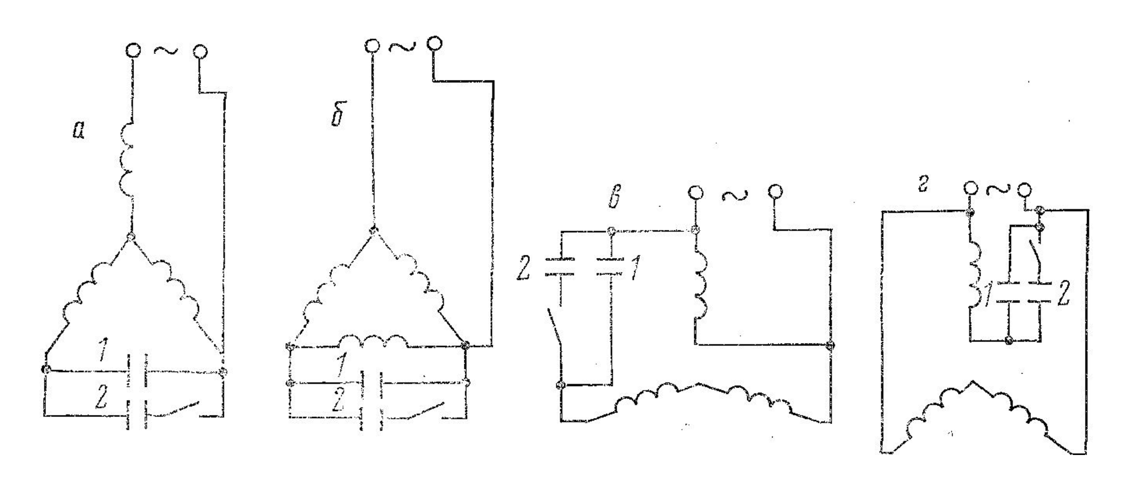


Рис. 22. Принципиальные электрические схемы включения конденсаторов в цепь статора трехфазного асинхронного электродвигателя:
1 – рабочий конденсатор; 2 – отключаемый конденсатор.

Если начала и концы фаз выведены на зажимной щиток, то применяют схемы (рис. 22, *в*, *г*), которые дают возможность получить больший пусковой момент и лучше использовать мощность электродвигателя.
Пусковая емкость конденсаторов:

$$C_{П} = C_{Р} + C_{0}$$

где $C_Р$ и C_0 – рабочая и отключаемая емкости. После пуска электродвигателя конденсатор 2 отключают. Рабочую емкость электродвигателя для частоты 50 *гц* определяют по формулам:

$$C_{Р} = 2800 \times \frac{I_{Н}}{U_{С}} \quad \text{рис. 22, а} \qquad C_{Р} = 1600 \times \frac{I_{Н}}{U_{С}} \quad \text{рис. 22, в}$$

$$C_{Р} = 4800 \times \frac{I_{Н}}{U_{С}} \quad \text{рис. 22, б} \qquad C_{Р} = 2740 \times \frac{I_{Н}}{U_{С}} \quad \text{рис. 22, г}$$

где $U_С$ – напряжение сети.
Мощность электродвигателя с конденсатором не должна превышать 65 – 85% номинальной мощности, указанной на щитке трехфазного электродвигателя. Если пуск электродвигателя осуществляется без нагрузки, то пусковая емкость не требуется. При пуске под нагрузкой, близкой к номинальной, пусковая емкость:

$$C_{П} = (2{,}5 - 3) \times C_{Р}$$

Выбор конденсаторов по номинальному напряжению производится по формулам:

$$U_{КН} = 1{,}15 \times U_{С} \quad \text{рис. 22, а, б} \qquad U_{КН} = 2{,}2 \times U_{С} \quad \text{рис. 22, в}$$

$$U_{КН} = 1{,}3 \times U_{С} \quad \text{рис. 22, г}$$

где: $U_{КН}$ – напряжение на конденсаторе.

Отключаемые конденсаторы работают непродолжительное время (всего несколько секунд или доли секунды за весь период включения).
Пример. Определить рабочую емкость для электродвигателя типа АОЛ32–4; 0,6 *кВт*, 127/220 *в*, 4,8/2,89 *А*. Напряжение сети $U_С$ = 220 *в*. Схема включения приведена на рис. 22, *а*. Пуск электродвигателя без нагрузки.
Рабочая емкость:

$$C_{Р} = 2800 \times \frac{I_{Н}}{U_{С}} = 2800 \times \frac{2{,}89}{220} = 36{,}7 \approx 40 \text{ мкф}$$

Напряжение на конденсаторе при выбранной схеме:

$$U_{КН} = 1{,}15 \times U_{С} = 1{,}15 \times 220 = 253 \text{ в}$$

Принимаем четыре конденсатора по 10 *мкф* каждый с рабочим напряжением 250 *в*.

Определение веса обмоточного провода при перемотке асинхронного электродвигателя.

Секция обмотки статора состоит из двух пазовых частей, равных полной длине сердечника *l*, и двух лобовых частей, длина которых зависит от размеров машины и типа обмотки.

Для наиболее распространенной обмотки – двухслойной – длина лобовой части:

$$l_{Л} = K \times T + 20 \text{ мм.}$$

где: T – средняя ширина секции по пазам. Величина K принимается по табл. 87.

87. Значение K.

Число полюсов	2	4	6	8 и более
лобовые части секции неизолированные	1,2	1,3	1,4	1,5
лобовые части изолированные лентой	1,45	1,55	1,75	1,9

Ширина секции T определяется по дуге окружности, проходящей через середины этих пазов и имеющей диаметр, равный сумме внутреннего диаметра статора Di и высоты его паза $h_{П}$:

$$T = \frac{\pi \times (Di + h_{П}) \times y}{z_1}$$

Для однослойной обмотки длину лобовой части можно определить по приближенной формуле:

$$l_{Л} \approx 1{,}4 \times \tau + \sigma$$

где: σ – размер, зависящий от величины электродвигателя, принимается равным 20 – 50 *мм*.
Полная длина среднего витка секции, *мм*.:

$$l_{В} = 2 \times (l + l_{Л})$$

Масса (*кг*) меди обмотки без изоляции определяется по формуле:

$$G_{Г} = \frac{3 \times w_{Ф} \times a \times l_{В} \times g}{1000000}$$

где: $w_{Ф}$ – число последовательно соединенных витков в фазе; a – число параллельных ветвей; g – масса одного километра проводника без изоляции, *кг*.
Если проводник состоит из параллельно включенных проводников разных диаметров, можно найти массу каждого из них в отдельности, а затем суммировать полученные величины. Масса обмотки с изоляцией определяется по формуле:

$$G_{И} = \left[0{,}876 + 0{,}124 \times \left(\frac{d_{И}}{d_{Г}}\right)^2\right] \times G_{Г}$$

где: $d_{И}$ и $d_{Г}$ – диаметр проводника с изоляцией и без изоляции, *мм*.
Пример. Определить массу медного проводника (обмотки) электродвигателя при следующих данных: $P_{Н}$ = 4,5 *кВт*, Di = 104 *мм*., l = 115 *мм*., $h_{П}$ = 16 *мм*., z_1 = 24, $2p$ = 2. Обмотка двухслойная, y = 11, a = 1, $w_{Ф}$ = 124, $d_{Г}$ = 1,35 *мм*., $d_{И}$ = 1,56 *мм*., g = 12,73 *кг/км*.
Решение. Средняя ширина секции по пазам:

$$T = \frac{\pi \times (Di + h_{П}) \times y}{z_1} = \frac{3{,}14 \times (104 + 16) \times 11}{24} = 173 \text{ мм.}$$

Длина лобовой части:

$$l_{Л} = K \times T + 20 = 1{,}2 \times 173 + 20 = 228 \text{ мм.}$$

Полная длина среднего витка секции:

$$l_В = 2 \times (l + l_Л) = 2 \times (115 + 228) = 686 \text{ мм}.$$

Масса медной обмотки без изоляции:

$$G_Г = \frac{3 \times w_Ф \times a \times l_В \times g}{1000000} = \frac{3 \times 124 \times 1 \times 686 \times 12{,}73}{1000000} = 3{,}25 \text{ кг}$$

Масса обмотки (проводника) с изоляцией:

$$G_И = \left[0{,}876 + 0{,}124 \times \left(\frac{d_И}{d_Г}\right)^2\right] \times G_Г = \left[0{,}876 + 0{,}124 \times \left(\frac{1{,}56}{1{,}35}\right)^2\right] \times 3{,}25 = 3{,}38 \text{ кг}$$

Определение массы медной обмотки электродвигателя по ее электрическому сопротивлению.

Масса обмотки:

$$G = 2 \times l \times w \times S \times q \times a \times 10^{-3}$$

сопротивление обмотки:

$$R = \frac{2 \times l \times q}{\gamma \times S \times a}$$

Решая эти уравнения, получим:

$$G = R \times \gamma \times S^2 \times q \times a^2 \times 10^{-3}$$

где: l – средняя длина витка, *м*; w – число витков; S – сечение витка, *мм*^{2} (при параллельных проводниках – общее их сечение); q – плотность меди, *кг/дм*^{3}; a – число параллельных ветвей; R – сопротивление обмотки, *Ом*; γ – электрическая проводимость, *м/Ом×мм*^{2}. При температуре 20°С γ = 57 *м/Ом×мм*^{2} (1/0,0175 ≈ 57), q = 8,9 *кг/дм*^{3}.
Вводя данные, получим массу медной обмотки (*кг*):

$$G = 0{,}507 \times R \times S^2 \times a^2$$

Пример. Двухполюсный электродвигатель с высотой оси вращения 132 *мм*. имеет обмотку из двух параллельных проводников сечением 0,9 и 0,95 *мм*^{2} (0,9 + 0,95 = 1,85 *мм*^{2}). Замеренное сопротивление одной фазы обмотки при t = 20°*С* равно R = 0,45 *Ом*.
Решение. Масса меди в одной фазе обмотки равна:

$$G = 0{,}507 \times R \times S^2 \times a^2 = 0{,}507 \times 0{,}45 \times 1{,}85^2 \times 2^2 = 3{,}1 \text{ кг}$$

Общая масса всей обмотки:

$$G = 3 \times G_Ф = 3 \times 3{,}1 = 9{,}3 \text{ кг}$$